

1 次元ジャミング転移機構の原理考案と具現化

○藤本 敏彰, 清水 杜織, 西村 礼貴, 野村 陽人,
鉄井 光, 藤田 政宏, 高根 英里, 小松 洋音,
多田 隈 建二郎, 昆陽 雅司, 田所 諭 (東北大学)

Jamming Transition Line Mechanisms with Single Dimension

○Toshiaki Fujimoto⁽¹⁾, Tori Shimizu⁽¹⁾, Ayaki Nishimura⁽¹⁾, Akito Nomura⁽¹⁾
Hikaru Tetsui⁽¹⁾, Masahiro Fujita⁽¹⁾, Eri Takane⁽¹⁾, Hirone Komatsu⁽¹⁾,
Kenjiro Tadakuma⁽¹⁾, Masashi Konyo⁽¹⁾, Satoshi Tadokoro⁽¹⁾, Tohoku University

キーワード

機構 (Mechanism), ジャミング転移, 線状, 剛性切替

連絡先 〒980 - 8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

東北大学大学院情報科学研究科 応用情報科学専攻 藤本 敏彰

Tel : 022-795-7025 Fax : 022-795-7023 E-mail : fujimoto.toshiaki@rm.is.tohoku.ac.jp

1. はじめに

1.1: 研究背景 (可変剛性に関する研究)

近年, 可変剛性機能を実現するためにジャミング転移現象を利用したロボット機構の研究開発が幅広く行われている. 従来, ジャミング転移を用いた機構では, 袋状構造の内部に粉体を封入し, 媒体としての空気を引き抜くことで, 粉体同士が接触して剛性の向上を実現していた[5]-[8]. 当研究チームにおいても, トーラス状の袋内部や, 膜内部に粉体や機能性流体, 物質の相変化を活用するもの, 過冷却現象を起こす液体を封入したグリップ機構を研究開発している. また, 手術具などを支持する円筒状アームの表面に面状の構造体を複数重ねてジャミング転移現象と同様の剛性変化を生じさせる, レイヤージャミングに基づく構造も提案されている[9][10].

ソフトロボットにおいてハンドやグリップなどの構造は考案・研究されてきたが (例えば[1]-[3]), それらに剛性可変機能を実現させることが本研究のひとつの応用である.

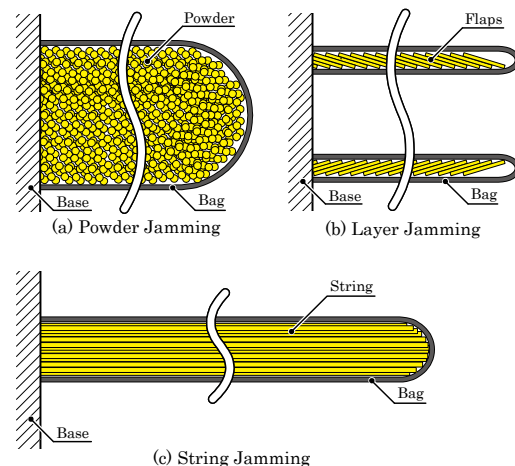


図1: 従来のジャミング転移を活用した構造 [(a), (b)] および, 考案した線状ジャミング転移機構 (c)

1.2 従来のジャミング転移機構の問題点

前述のように, 可変剛性の実現にジャミング転移現象は広く用いられつつある. しかしながら, 粉体・面 (板) を有するジャミング転移現象には以下の問題点が存在する. まず, 粉体方式では, 袋が細長い場合に, 図2のように高剛性モードにおいても根元部で座屈が生じやすい. また, 実用的観点では, 袋状構造

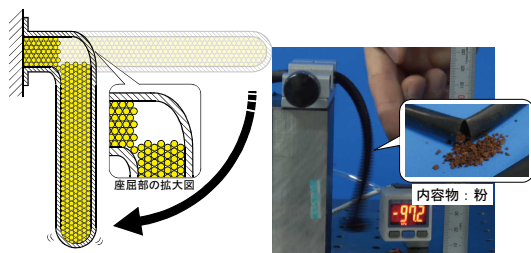


図2：従来の粉体ジャミング機構の問題点

が破損した際に、粉体が外部に漏れることで、外環境を汚染する、アーム構造自体の特性が大きく変化する、などの問題も存在する。次に、面状方式の場合、低剛性モードにおいて面状体を封入した袋状構造が湾曲する際の曲率半径が小さく、可動範囲が非常に限定される、という点で問題がある。

本研究では、上記問題を鑑み、従来の点・面にあたる内部構造ではなく、新しく線状の内部構造を有する線状ジャミング転移機構を考案し、実機を具現化して特性を確認したので報告する。

2. 線状ジャミング転移機構

線状ジャミング転移機構の構造としては、以下に示す方式が考えられる。

2.1 複線ジャミング方式

複線ジャミング方式の概念を図3に示す。袋状構造の内部に複数の線が封入された基本構成を取り、内部媒体の量により、高剛性・低剛性モード、またその中間のモードを切り替えることが可能である。これにより、接触対象になじむ際には柔らかく、力を及ぼす際には高剛性にて接触するという剛性可変ひいては外部接触対象との力入出力を切り替える機能を実現可能であり、伸縮可能な構造にも発展可能であると考えられる。

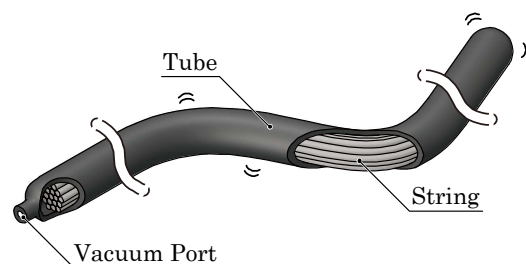


図3：線状ジャミング機構の概念

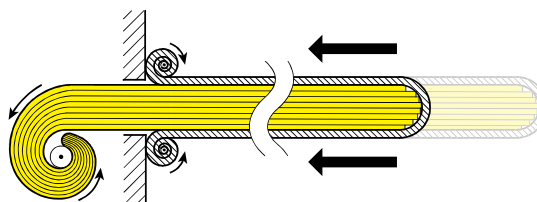


図4：「巻取り」、すなわち「伸縮」可能性を有する線状ジャミング機構の概念図

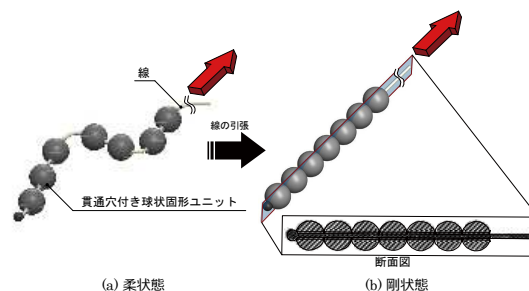


図5：非凹凸対称形状による中央線ジャミング転移機構の問題点（経路長変化が大）

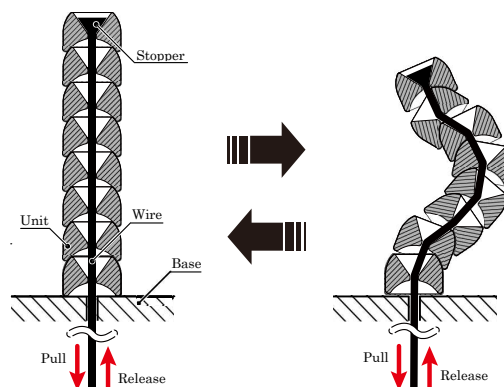


図6：中央線ジャミング方式の原理

2.2 中央線ジャミング方式

本構造は、数珠のような貫通穴付きユニット複数と、それら穴を貫通する中央の線とから構成された機構となっている[11]。こちらの

方式は、前述の方式とは異なり、内部の線状物の強度次第で引張り力を高めることができ、ひいては剛性の高さを向上が見込めるものである。巻き取りを可能にする構造として中空構造のユニットにワイヤーを通した構造も研究されているが[12]、我々はこの構造を剛性切替に用いる。この中央線に張力を与えることにより数珠同士を接触させて剛性を向上させる方法である（図 6）。この方式において、従来方式のユニットは数珠と同様の球体状の形状を有していたが、中央線の経路上、湾曲動作が困難であるという問題が残っていた。図 8 に示す構造は、機構全体が湾曲しても中央線の長さを変化しないように凹凸構造を前後に施して、受動湾曲および剛性切替を可能とした。

中央線ジャミング方式の概念を図 3 に示す。複数の数珠のような貫通穴付きユニットとそれらの穴を貫通する中央の線から構成され、中央線に張力を与えることで数珠同士を接触させることで剛性の向上が可能である。内部の線状物の強度次第で引張り力を高めることができるため、ひいては剛性の向上が見込まれる。巻き取りを可能にする構造として中空構造のユニットにワイヤーを通した構造も研究されているが、我々はこの構造を剛性切替への利用を検討する。

3. 実機具現化

3.1 複線ジャミング方式

まず、複線ジャミング方式に基づいて具現化した実機の外観を図 4、内部を露出させて拡大したものを図 5、そして試作機の仕様を表 1 にそれぞれ示す。現行機においては、内部線状物は撚らない状態で袋内部に封入している。個々で、内部線状物として、撚り線を用

いる方法なども考えられる。したがって、線の本数・材質・線径や配置、さらに、内部に封入する別の物質として機能性流体との組み合わせなどに関しても、各種組み合わせと特性、機能について検討している。

表 1：試作機の仕様

直径	6 [mm]
可動部長さ	260 [mm]
重さ(継手除く)	15.5 [g]
線直径	1.2 [mm]
線の本数	19 [本]
線の型番	UL1007AWG28
チューブ材質	天然ゴム



図 7：試作機の全体外観



図 8：複線ジャミング内部構造

3.2 中央線ジャミング方式

次に、中央線ジャミング転移方式に基づき具現化した実機の外観を図 6 に示す。従来方式のユニットは数珠と同様の球体形状を有していたが、中央線の経路上、湾曲動作が困難であるという問題が残っていた。図 8 に示す構造は、機構全体が湾曲しても中央線の長さを変化しないよう凹凸構造を前後に施し、受動湾曲および剛性切替を可能とした。

4. 実機実験

4.1 複線ジャミング方式

考案した線状ジャミングの効果を検証するために、実機を用いた実験を行った。従来方式との比較を行うために、天然ゴム製のチューブの中に粉体を封入したものを準備した（図 7, 8 上部の実機）。剛性特性を取得するための実機実験の様子を図 9 に示す。図 9 に示すように、実機の根元部から 50mm の位置に上方向から下方向に押付力を加え、その時の力と変位の関係について、低剛性モード、高剛性モードそれぞれについて測定した。実機の自重の影響に関しては、今回は無視してある。実験の結果を図 10, 11 にそれぞれ示す。

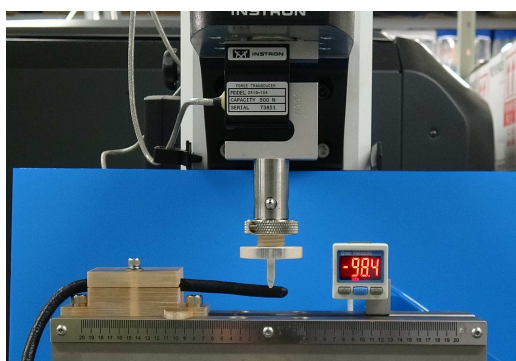


図 9：剛性測定基本実験の様子（従来版）

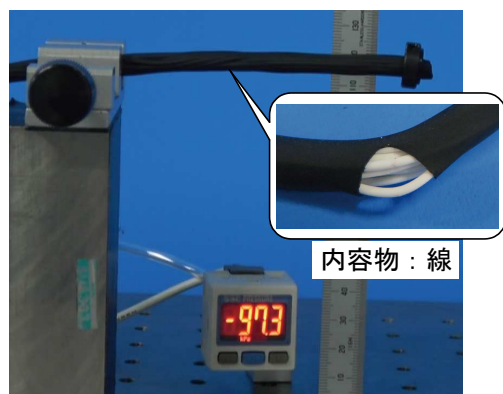


図 10：複線ジャミングにおける形状姿勢維持の様子

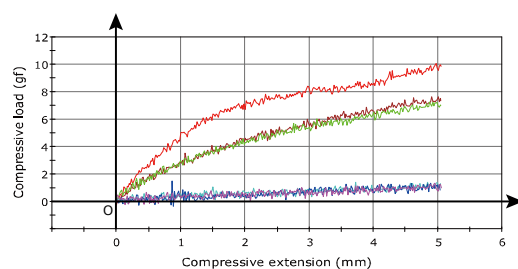


図 10：粉体ジャミング転移現象における特性

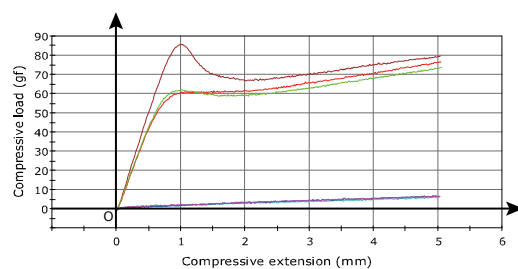


図 11：線状ジャミング転移現象における特性

それぞれ示す。実機実験により、考案した線状ジャミング転移機構に基づく試作機は、5mm ピーク時での比較では 1.5 倍、弾性域と考えられる直線部分で比較すると従来の 3 倍以上、剛性・高剛性モード間に差が出ることを確認した。

4.2 中央線ジャミング方式

中央線ジャミング方式に関しても、図 12 の外観の実機を設計・試作し、従来の非凹凸対称構造と比較しての、経路長変化が少ないことによる形状維持機能について、その効果を、実機実験を通して確認した。

今後はユニット間での捩じれ防止用の凹凸や素材特性を考慮して実験を通して検討していく。また、簾のような面構造や、この線状ジャミング転移機構を複数集めることによる可変剛性グリップなどの構成も進める。



図 1 2 : 中央線ジャミング方式の試作機外観

4.3 その他応用例

粉体ジャミング転移機構における先端を半球形状としたグリッパ機構に関して、その設計と試作に成功した。また、粉体として、従来のものはコーヒー豆粗挽粉を使用していたが、さらに再現性の高さおよび耐久性を考慮し、RB セラミックを新たに内部粒子として用いている。この粒子をジャミング転移機構用に用いた例は過去にない、基礎研究上非常に重要な変更点である。複線ジャミングにおいては、この粒子を袋内においては、混在させる、もしくは線の表面にまぶした形で接着したものを用いることにより、より複線同士が高剛性モードによってからまることで、捩じれの防止につながる。また、中央線方式についても磁石、特に IB

マグネットを用いて、与える力に比して大きな力でユニット同士が接続させうる構造を構成可能である。これら剛性切替機構を搭載する移動体としては、例えば軸方向にインパクト駆動をさせることで移動し、断面が円形で中央に回転軸を有することで軸方向と直交方向にも移動可能な推進体などがある。また、その駆動用として、交差型クロスヘリカル歯車における凹凸を反転させた構造と組み合わせることにより、ストッパの働きをする歯車機構となるため、部品点数を減らすには有用であると考えている。また、図 13-15 に示すように、線状ジャミング転移機構は様々な場面で活用可能な構造であると考えられ、今後の基礎構造としての位置づけで研究開発に取り組む。

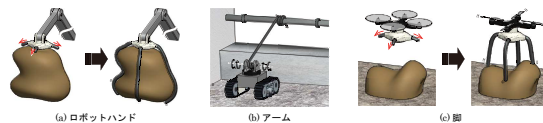


図 1 3 : 線状ジャミングの応用例。



図 1 4 : 複数の移動体間での押力（圧縮力）の発生による踏破性の向上。

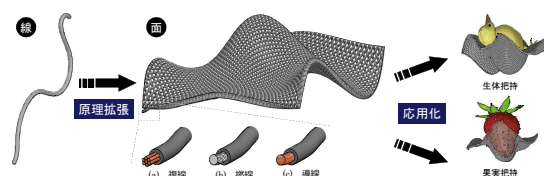


図 1 5 : 線を単位として、編むことによる布構造への構造拡張。

5. まとめ

本稿では、従来の粉体・板状のジャミング転移機構では困難であった、全体が線状構造を有しながらも高柔軟性と高剛性を容易に実現可能な構造である線状ジャミング転移機構に関して、複線方式と中央線方式の2つを考案した。そして、考案した原理に基づき実機を構成し、実験を通して考案した構造の有効性を確認した。今後はさらなる内部線状物による特性変化を実機実験により明らかにし、能動湾曲との組み合わせ等を行う。

謝 辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。

参 考 文 献

- [1] ロボット工学ハンドブック pp351-352, 日本ロボット工学会編, ISBN 4-339-04576-4, コロナ社
- [2] 広瀬茂男：生物機械工学, 191/199, 工業調査会(1987)
- [3] S. Hirose and Y. Umetani: The Development of Soft Gripper for the Versatile Robot Hand, Mechanism and machine theory, 13-3, 351/359 (1978)
- [4] 多田隈建二郎, 多田隈理一郎, 勅使河原誠一, 溝口義智, 長谷川浩章, 寺田一貴, 高山俊男, 小俣透, 明愛国, 下条誠. (2008). 全方向包括式なじみグリップ-基本概念の提案と機械モデルの第一次試作. 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集., 11-01.
- [5] G. Banconand B. Huber : Depression and Grippers with Their Possible Applications, 12th ISIR, Paris (1982) PP. 321-329.
- [6] Brown, Eric, et al. "Universal robotic gripper based on the jamming of granular material." Proceedings of the National Academy of Sciences 107.44 (2010): 18809-18814
- [7] Cheng, N., Lobovsky, M., Keating, S., Setapen, A., Gero, K., Hosoi, A., and Iagnemma, K., Design and Analysis of a Robust, Low-cost, Highly Articulated Manipulator Enabled by Jamming of Granular Media, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2012
- [8] Allen Jiang, Prokar Dasgupta, Kaspar Althoefer and Thrishantha Nanayakkara, "Robotic Granular Jamming: A New Variable Stiffness Mechanism", 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.4, pp.333-338, 2014.
- [9] Kim, Y., Cheng, S., Kim, S., and Iagnemma, K., Design of a Tubular Snake-like Manipulator with Stiffening Capability by Layer Jamming, Proceedings of the IEEE International Conference on Robots and Systems, 2012
- [10] Kim, Y., Cheng, S., Kim, S., and Iagnemma, K., A Novel Layer Jamming Mechanism with Tunable Stiffness Capability for Minimally Invasive Surgery, IEEE Transactions on Robotics, Vol. 29, No. 1, pp. 1031-1042, August 2013
- [11] 藤田政宏, 高根英里, 野村陽人, 小松洋音, 西田健, 多田隈建二郎, 昆陽雅司, 田所諭, “無摺動式トーラス型伸展指機構 — 密集環境内における軟弱・脆弱対象物としての幼鶏体の抱擁的把持を目的とした効果器—”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2P1-D07, 2017.
- [12] 渡邊悠太, カニエテルイス, 高橋隆行, “原子炉内部調査用ロボットの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2P1-R08, 2017.